Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Morphophysiological and biochemical changes of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) treated with amino acid and transpiration reducers in dry soils

Sarah Khajeh Hosseini[*1], Farzad Fanoodi[2], Sayed Ali Tabatabaei[3], Rostam Yazdani Biouki[4], Jafar Masoud Sinaki[5]

1. Corresponding Author, Ph.D. Graduate, Dept. of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran. E-mail: sarehkhajahhosseini@gmail.com
2. Assistant Prof., Dept. of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran. E-mail: farzadfanoodi@yahoo.com
3. Seed and Plant Improvement Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resource and Education Center, AREEO, Yazd, Iran. E-mail: tabataba4761@yahoo.com
4. Assistant Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. E-mail: yazdani.agroecology@gmail.com
5. Assistant Prof., Dept. of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran. E-mail: jmsinaki2020@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 06.16.2022
Revised: 01.05.2023
Accepted: 01.08.2023

Keywords:
Antioxidant activity,
Foliar application,
Photosynthetic pigments,
Reduction of available water

ABSTRACT

Background and Objectives: Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) is a woody and perennial plant. Drought stress is one of the abiotic stresses that have the adverse effects on growth, development and other metabolic processes of the plant. In this regard, it is necessary to use targeted methods to deal with dehydration, therefore, this study was conducted based on the evaluate the rate of changes in hyssop treated with transpiration-reducing compounds such as kaolin and chitosan as well as the amino acid glycine under drought stress

Materials and Methods: This research was conducted as a factorial split plots experiment based on a completely randomized design with 3 replications, during 2016-2017 at the Agricultural and Natural Resources Center of Yazd Province. Experimental factors include the drought stress at 3 levels (25, 50 and 75% of the the available water discharge from the soil), the foliar application at 4 levels [water (control), kaolin (2.5%), chitosan (0.4 g/l), glycine amino acid glycine (2.5 per thousand)] and the foliar application time (vegetative and flowering, just flowering)

Results: The results showed that in the control stress treatment (25% of the the available water discharge from the soil), the foliar application of glycine and kaolin, increased the canopy diameter by 30.59% and 27.21%. Also the chitosan and kaolin spraying at flowering time decreased the electrolyte leakage by 6.1% and 6.3%. The highest canopy diameter was obtained on th the interaction of the control stress and glycine amino acid (619 cm^2) and the lowest leakage was obtained on the interaction of control stress and the foliar application of chitosan and kaolin at flowering. The increasing drought stress until the level of 50%, increase of 4.79% in chlorophyll a and the total chlorophyll and the highest chlorophyll a, and total chlorophyll (153 and 216 mg/g FW) respectively were observed in the foliar application of control at vegetation and flowering. The increasing the amount of available water discharge to the level of 75%, a decreasing trend

in the amount of leaf area (91%) dry weight (51.95%), chlorophyll a (34.64%), chlorophyll b (43.86%) and total chlorophyll (32.87%), also an increasing trend in superoxide dismutase activity (25.92%) was observed. The highest leaf area in the interaction of control stress and the foliar application of control (4947 cm^2) at flowering, dry weight (140.5 g/m^2), chlorophyll b (69.3 mg/g FW) in the interaction of control stress and the foliar application of control and superoxide dismutase activity in the interaction of sever stress and foliar application of kaolin (0.34 (U. mg $protein^{-1}$. min^{-1}) at vegetation and flowering Was obtained. Also, the foliar application of control, kaolin and chitosan at vegetation and flowering compared to other experimental treatments had the greatest effect on chlorophyll b, canopy diameter and dry weight.

Conclusion: Drought stress reduced the amount of morphological parameters. This decrease had less negative effects on physiological parameters, so the mentioned parameters had an increasing trend to the mild stress level and a decreasing trend was observed with the increase of dryness up to the sever level The severe stress also increased biochemical parameters. Foliar application with glycine and chitosan at vegetation and flowering was effective in increasing morphological parameters dependent on growth and foliar application of chitosan and kaolin during flowering as well as kaolin spraying during vegetation and flowering played a useful role in increasing the biochemical parameters related to the antioxidant activity of plant to. Due to the changes in the hyssop, the application of this substances can be recommended to reduce the adverse effects of stress on other medicinal plants.

Cite this article: Khajeh Hosseini, Sarah, Fanoodi, Farzad, Tabatabaei, Sayed Ali, Yazdani Biouki, Rostam, Masoud Sinaki, Jafar. 2023. Morphophysiological and biochemical changes of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) treated with amino acid and transpiration reducers in dry soils. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (4), 29-51.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20329.2065
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

شاپا چاپی: ۱۲٦۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲

تغییرات مرفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) تیمارشده با اسیدآمینه و کاهنده‌های تعرق در خاک‌های خشک

ساره خواجه حسینی*[۱]، فرزاد فنودی[۲]، سید علی طباطبایی[۳]، رستم یزدانی بیوکی[٤]، جعفر مسعود سینکی[٥]

۱. نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، دامغان، ایران. رایانامه: sarehkhajahhosseini@gmail.com
۲. استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، دامغان، ایران. رایانامه: farzadfanoodi@yahoo.com
۳. بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. رایانامه: tabataba4761@yahoo.com
٤. استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. رایانامه: yazdani.agroecology@gmail.com
٥. استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، دامغان، ایران. رایانامه: jmsinaki2020@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۳/۲٦
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۰/۱۸

واژه‌های کلیدی:
رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش آب قابل‌دسترس، محلول‌پاشی

چکیده

سابقه و هدف: زوفا با نام علمی (*Hyssopus officinalis* L.) گیاهی خشبی و چندساله می‌باشد. تنش خشکی از جمله تنش‌های غیرزیستی است که اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو و سایر فرآیندهای متابولیکی گیاه دارد. در همین راستا استفاده از روش‌هایی هدفمند جهت مقابله با کم‌آبی ضرورت داشته، بنابراین این پژوهش بر پایه بررسی میزان تغییرات ایجاد شده در گیاه زوفا تیمارشده با ترکیبات کاهنده تعرق همچون کائولین و کیتوزان و همچنین اسیدآمینه گلایسین در شرایط تنش خشکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار در سال زراعی ۹٦ – ۱۳۹۵ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد انجام گردید. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی در ۳ سطح (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس گیاه از خاک)، محلول‌پاشی در ٤ سطح آب (شاهد)، کائولین (۲/۵درصد)، کیتوزان (۰/٤ گرم در لیتر)، اسیدآمینه گلایسین (۲/۵ در هزار) و زمان محلول‌پاشی (رویشی و گلدهی، گلدهی) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که، در تیمار شاهد تنش (۲۵ درصد میزان تخلیه آب قابل‌دسترس)، محلول‌پاشی گلایسین افزایش ۳۰/۵۹ درصدی و کائولین افزایش ۲۷/۲۱ درصدی قطر تاج پوشش و همچنین محلول‌پاشی کیتوزان و کائولین در زمان گلدهی به ترتیب کاهش ٦/۱ درصد و ٦/۳ درصدی میزان نشت الکترولیت را باعث شد. بیش‌ترین میزان قطر تاج پوشش را،

برهمکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی با اسیدآمینه گلایسین (٦١٩ سانتی‌متر مربع) و کم‌ترین میزان نشت را برهمکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی کیتوزان و نیز کائولین در زمان گلدهی دارا بودند. افزایش تنش خشکی تا سطح ۵۰ درصد میزان تخلیه آب قابل‌دسترس، افزایش ٤/٧٩ درصدی کلروفیل a و کلروفیل کل را در بر داشت و بیش‌ترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل به ترتیب (۱۵۳ و ٢١٦ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در محلول‌پاشی شاهد، در زمان رویشی و گلدهی مشاهده شد. با افزایش میزان تخلیه آب قابل دسترس گیاه تا سطح ۷۵ درصد، روند کاهشی در میزان پارامترهای سطح برگ (۹۱ درصد) و وزن خشک (۵۱/۹۵ درصد)، کلروفیل a (٣٤/٦٤ درصد)، کلروفیل b (٤٣/٨٦ درصد) و کلروفیل کل (۳۲/۸۷ درصد) و نیز روند افزایشی در میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (۲۵/۹۲) مشاهده شد. بیش‌ترین میزان سطح برگ در بر همکنش تیمار شاهد تنش و محلول‌پاشی شاهد (٤٩٤٧ سانتی‌متر مربع) در زمان گلدهی، عملکرد وزن خشک (١٤٠/٥ گرم در مترمربع)، کلروفیل b (٦٩/٣ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در برهمکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی شاهد و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (در برهمکنش تیمارهای تنش شدید و محلول‌پاشی کائولین (٠/٣٤ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در زمان رویشی و گلدهی به‌دست آمد. هم‌چنین محلول‌پاشی شاهد، کائولین و کیتوزان در زمان رویشی و گلدهی در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایشی بیش‌ترین تأثیر را بر روی میزان کلروفیل b تاج پوشش و وزن خشک داشتند.

نتیجه‌گیری: تنش خشکی سبب کاهش میزان پارامترهای مرفولوژیکی شد. اما تأثیرات منفی کم‌تری بر پارامترهای فیزیولوژیکی داشت، به‌طوری‌که پارامترهای مذکور تا سطح تنش متوسط روند افزایشی را دارا بودند و با افزایش خشکی تا سطح شدید روند کاهشی مشاهده شد. هم‌چنین کمبود آب تا سطح تنش شدید افزایش پارامترهای بیوشیمیایی را نیز باعث شد. محلول‌پاشی با گلایسین و کیتوزان در زمان رویشی و گلدهی در بالا بردن پارامترهای مرفولوژیکی وابسته به رشد مؤثر بودند و محلول‌پاشی با کیتوزان و کائولین در زمان گلدهی و هم‌چنین محلول‌پاشی با کائولین در زمان رویشی و گلدهی در افزایش پارامترهای بیوشیمیایی مرتبط با میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نقش مفیدی ایفا کردند. با توجه به تغییرات صورت گرفته در گیاه زوفا، از این‌رو می‌توان کاربرد چنین موادی را در جهت کاهش اثرات سوء تنش در سایر گیاهان دارویی نیز توصیه نمود.

استناد: خواجه حسینی، ساره، فنودی، فرزاد، طباطبایی، سید علی، یزدانی بیوکی، رستم، مسعود سینکی، جعفر (۱۴۰۱). تغییرات مرفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) تیمارشده با اسیدآمینه و کاهنده‌های تعرق در خاک‌های خشک. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۲ (۴)، ۵۱-۲۹.

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.20329.2065

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گیاهی چندساله، با گل‌های آبی، صورتی و سفید رنگ، میوه‌ها فندقه، به رنگ سیاه یا قهوه‌ای تیره، با ارتفاع ٦٠ سانتی‌متر متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) بوده و به‌عنوان یک گیاه دارویی در درمان عفونت‌های ویروسی هم‌چون سرماخوردگی، گلودرد، برونشیت و آسم کاربرد دارد (١، ٢). منشاء این گیاه آسیای صغیر گزارش شده و از دریای خزر تا دریای سیاه و هم‌چنین در مناطق شنی مدیترانه می‌روید (٣).

گیاهان در طول رشد و نمو در شرایط طبیعی و کشاورزی در معرض تنش‌های محیطی مختلف قرار می‌گیرند. در این میان، خشکی یکی از شدیدترین تنش‌های محیطی است که بر تولیدات گیاهی تأثیر می‌گذارد. حدود ٨٠ تا ٩٥ درصد از زیست‌توده تر کل گیاه از آب تشکیل شده است که نقش حیاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلفی از جمله رشد، نمو و متابولیسم گیاه دارد (٤، ٥). کمبود رطوبت با اختلال در عمل روزنه‌ها، فرایندهای فتوسنتزی، آنزیمی مرتبط با پتانسیل آب بر رشد و عملکرد گیاهان اثر منفی دارد (٦، ٧، ٨). تنش خشکی می‌تواند باعث محدودیت و یا آسیب به فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف مرتبط با فتوسنتز، از جمله کاهش محتوای کلروفیل، اختلال در هدایت روزنه‌ای، تداخل با سرعت جذب خالص و پارامترهای بازده فتوشیمیایی فتوسیستم شود. چنین آسیبی می‌تواند رشد گیاه را مهار کرده و در نهایت تولید محصول را کاهش دهد (٩، ١٠). هم‌چنان که افزایش میزان تنش خشکی (٤٠، ٧٠ و ١٠٠ درصد ظرفیت زراعی)، در گیاه کلپوره (*Teucrium polium* L.)، کاهش در محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل را در برداشته و تیمارهای تنش ٧٠ و ٤٠ درصد ظرفیت زراعی به‌صورت معنی‌داری کم‌تر از تیمار ١٠٠ درصد بود. به دنبال آن، کاهش در میزان پارامترهای رشدی هم‌چون ارتفاع، طول ساقه نیز در گیاه مشاهده شد به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار ١٠٠ درصد ظرفیت زراعی بود که با تیمار ٧٠ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت. هم‌چنین تنش ٤٠ درصد سبب کاهش معنی‌دار طول ساقه به‌میزان ٧٣/٣٢±١٤/٠ در مقایسه با تنش ٧٠ درصد و شرایط فاقد تنش بود (١١). در پژوهشی مشابه نیز تنش ملایم و شدید کم‌آبی، سبب کاهش معنی‌دار (١٨/٢ و ٤٢/٩٢ درصدی) ارتفاع و (١٥/١١ و ٥١/٩٨ درصدی) عملکرد بیولوژیک گیاه نعنا گردید. درحالی‌که میزان رنگدانه‌ها، کارتنوئید، آنتوسیانین، پرولین و درصد اسانس به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (١٢). وقوع تنش‌های غیرزیستی همچنین باعث تولید بیش از حد انواع اکسیژن فعال (ROS) در سلول‌های گیاهی شده که در ادامه به چالشی بزرگ برای رشد و بهره‌وری بهینه گیاه تبدیل می‌شود (١٣) چرا که اکسیژن فعال با اکسیداسیون مولکول‌های زیستی لیپید، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، DNA، به اجزای مولکولی و سلولی آسیب رسانیده و باعث مرگ گیاه می‌شود (١٤، ١٥). در پژوهشی در همین راستا گزارش شد با کاهش رطوبت خاک، در نتیجه اعمال تنش خشکی (٣٠، ٦٠ و ٩٠ درصد ظرفیت زراعی) در گیاه مرزه، میزان نشت الکترولیت افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که در سطح ٣٠ درصد ظرفیت زراعی خاک در مقایسه با تیمار ٩٠ درصد ظرفیت زراعی با افزایش ٢٦/٨ درصدی همراه بود (١٦). از مهم‌ترین سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر تولید و انباشت اکسیژن فعال، فعالیت آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز بوده (١٧) تا سطوح اکسیژن فعال در سلول در حد متعادل نگه داشته شود (١٨). هم‌چنان که با اعمال تنش خشکی در پنج سطح (٨٠ (شاهد)، ٥٩، ٥٠ و ٤٠ درصد

ظرفیت زراعی) در دو اکوتیپ گیاه دارویی ختمی (مشهد و تهران)، کم‌ترین میزان نشت الکترولیت در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) در زمان ساقه‌دهی و بیش‌ترین نشت الکترولیت در اکوتیپ تهران تحت تیمار ٤۰ درصد ظرفیت زراعی در مرحله گیاهچه‌ای و هم‌چنین بیش‌ترین میزان آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز در اکوتیپ مشهد و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در هر دو اکوتیپ در تیمار ٤۰ درصد ظرفیت زراعی در زمان ساقه‌دهی ثبت شد (۱۹). در پژوهشی دیگر کمبود آب، باعث افزایش تخریب غشا سلولی در گیاه مریم گلی شد، به‌طوری‌که میزان تولید آلدئیدهایی مانند مالون دی آلدئید (MDA) در برگ گیاه افزایش یافت. خشکی هم‌چنین افزایش فعالیت دیسموتاز سوپراکسید را به همراه داشت (۲۰). روش‌های بسیاری برای کاهش اثرهای منفی خشکی بر رشد گیاه همانند محلول‌پاشی گیاهان با ترکیباتی مانند کاهنده‌های تعرق هم‌چون کائولین و کیتوزان (۲۱، ۲۲، ۲۳) و اسیدهای آمینه هم‌چون گلایسین گزارش شده است (۲٤). کائولین ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) ماده معدنی سفید رنگ، خنثی و با انعکاس نور بسیار بالا بوده (۲۵) و کیتوزان ($(C_6H_{11}O_4N)_n$) ماده‌ای غیرسمی، بیوپلیمر آلی و طبیعی و مشتق شده از کتین است (۲٦، ۲۷).

در پژوهشی در گیاه پنبه، تنش خشکی، با حذف آبیاری در زمان گلدهی به مدت ۲۱ روز ایجاد شد، کاهش معنی‌داری در محتوای آب نسبی برگ، سرعت خالص فتوسنتزی و عملکرد دانه پنبه در دو ژنوتیپ NIAB 878 و SLH 19 شد. عملکرد بذر پنبه کاهش کلی ۲٤/۷ درصدی را نسبت به آبیاری معمولی نشان داد. ولی محلول‌پاشی کائولین (۵ درصد) باعث بهبود صفات رویشی گیاه شد. کائولین نتایج بهتری را بر ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب، سطح برگ و وزن خشک گیاه داشت (۲۸). هم‌چنین در مطالعه که بر روی گیاه بابونه آلمانی در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی با کیتوزان صورت گرفت، نتایج نشان داد که در شرایط تنش کاربرد کیتوزان در ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر ٦۰ روز پس از کاشت، موجب افزایش فعالیت پراکسیداز، درصد کامازولن و عملکرد اسانس شده و در شرایط رطوبتی معمول، کاربرد سطح سوم کیتوزان ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر ۷۵ روز پس از کاشت منجر به افزایش درصد کامازولن، درصد و عملکرد اسانس گردید (۲۹) اسیدآمینه گلایسین (NH_2-CH_2-COOH)، نیز از ترکیبات نیتروژنه محلول، قطبی، آب‌دوست است (۳۰). در همین راستا پژوهش‌گران با بررسی اثرات اسیدآمینه گلایسین (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، یا ٤۰ میلی‌گرم در لیتر) در گیاه گشنیز گزارش کردند قطر ساقه و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در کاربرد گلایسین به میزان ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت. کاربرد گلایسین در ٤۰ میلی‌گرم در لیتر بسیاری از پارامترهای رشد گیاه را کاهش داد، در حالی‌که غلظت پرولین برگ افزایش یافت. تمام سطوح گلایسین به جز ٤۰ میلی‌گرم در لیتر وزن تر ریشه را افزایش دادند. محتوای پروتئین برگ نیز با استفاده از گلایسین در ۱۰ یا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت، در حالی‌که فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ در تمام سطوح گلایسین افزایش یافت. در کل سطح متوسط گلایسین (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) توانست رشد گشنیز را بهبود بخشد (۳۱). برنامه‌ریزی منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای محدودیت کمی و کیفی آب هستند، بسیار مهم و در عین‌حال بسیار مشکل است. بنابراین استفاده از روش‌هایی هدفمند جهت مقابله با کم‌آبی ضرورت می‌یابد. از سوی دیگر کاربرد گیاهان مقاوم به خشکی نیز در این مناطق امری لازم به نظر می‌رسد. زوفا گیاهی مقاوم به خشکی بوده و نواحی

خشک و گرم، مناطق مناسبی برای کشت این گیاه هستند ولی در آغاز رویش و هم‌چنین پس از اولین برداشت به آب کافی نیاز دارد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی میزان تغییرات مرفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه دارویی زوفا تحت تنش خشکی در پاسخ به کاربرد کاهنده‌های تعرقی کائولین و کیتوزان و هم‌چنین اسیدآمینه گلایسین انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶ – ۱۳۹۵ در استان یزد با موقعیت مکانی عرض جغرافیایی ۳۱ درجه شمالی و طول ٥٤ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۲۲۰ متر و بیشینه مطلق دمای سالانه ٤٥/٥ درجه سانتی‌گراد، در سایت اصلی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد اجرا شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار انجام گردید. سطوح تنش خشکی [۲٥ (شاهد)، ٥۰ (متوسط) و ۷٥ (شدید) درصد تخلیه آب قابل دسترس گیاه از خاک (۳۲) کرت‌های اصلی، سطوح محلول‌پاشی (شاهد)، کائولین ۲/٥ درصد (۳۳)، کیتوزان ۰/٤ گرم در لیتر (۳٤) اسیدآمینه گلایسین ۲/٥ در هزار (۳٥) در کرت‌های فرعی و زمان محلول‌پاشی (گلدهی، رویشی و گلدهی) کرت‌های فرعی فرعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور تامین نیاز تغذیه‌ای گیاه، قبل از کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل به خاک اضافه گردید. هم‌چنین به‌منظور تأمین نیتروژن مورد نیاز براساس نتایج آزمون تجزیه خاک (جدول ۱)، کود اوره (٤٦ درصد نیتروژن) در دو مرحله قبل از کاشت به خاک و هم‌چنین در اواسط دوره رویشی (۱٥ تیرماه) به‌صورت سرک به گیاه و در هر نوبت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of the experimental location.

بافت خاک Soil texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
Loamy sand	5	20	75	360	41.6	0.221	1.68	7.67

بذور از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. کرت‌های اصلی ٤ × ۳ متر، دارای شش ردیف با فاصله‌ی ٥۰ سانتی‌متر بودند. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بودند. فواصل بین کرت‌های اصلی و بین بلوک‌های آزمایش به ترتیب ۱/٥ و ۳ متر بود. کاشت به‌صورت مستقیم و دستی و در دوم اردیبهشت انجام شد. بلافاصله پس از کاشت بذرها، آبیاری صورت گرفته و تا استقرار کامل گیاه (۱۰ برگی) هر ٤ روز یکبار کرت‌ها آبیاری شد. پس از استقرار کامل گیاه (یک ماه پس از کاشت)، تنش خشکی با افزایش فاصله‌های دور آبیاری بر اساس درصد تخلیه آب قابل‌دسترس خاک (مقدار آب موجود در ناحیه ریشه بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم) در منطقه ریشه و محاسبه میزان پتانسیل آب خاک به‌وسیله دستگاه

صفحات فشاری برای پتانسیل‌های مختلف اعمال گردید. برای ارزیابی آب قابل‌دسترس خاک، عمق مدیریت آبیاری برای گیاه زوفا بدون توجه به مرحله رشدی گیاه، حدود ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. رطوبت خاک در لایه‌های ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک با استفاده از دستگاه TDR مدل (TRASE System 1) اندازه‌گیری شد. با توجه به بافت خاک (شنی لومی) نقطه ۱٤/۷ حدود 8Ψ به عنوان پایان رطوبت سهل الوصول و آغاز احساس تنش به گیاه و جهت اعمال تیمارهای آزمایشی دو نقطه قرائت دستگاه (۱۳/۵ برای عدم تنش و ۸ برای تنش) در نظر گرفته شد. با نظر به بافت خاک و نقاط رطوبتی گرفته شده برای اعمال تیمار آبیاری در سطوح ۲۵، ۵۰، ۷۵ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک، به‌ترتیب دور آبیاری ۷، ۹ و ۱۱ روز تعیین شد. مقدار آب آبیاری نیز از طریق نصب کنتور انجام گردید. به طور کلی مراحل فنولوژیک گیاه زوفا به شرح زیر است: مرحله کشت بذر تا سبز شدن ۱٦ روز، مرحله سبز شدن تا ظهور غنچه (جوانه زایشی) ٦۷ روز، مرحله شروع گلدهی (از ظهور غنچه) ۳۸ روز، مرحله گلدهی کامل تا تشکیل بذر ۳۷ روز و مرحله رسیدن بذر تا خشک شدن کامل ۸-۱۵ روز (۳٦) به این ترتیب، ۳ عدد بوته در هر کرت به‌طور تصادفی علامت‌گذاری و در طول مدت آزمایش تحت مشاهدات مکرر قرار گرفتند. مراحل رشدی گیاه بر اساس رسیدن ۵۰ درصد گیاهان موردنظر به یک مرحله رشدی مشخص تعیین و فاصله زمانی تا هر مرحله بر اساس روز پس از کاشت گیاه محاسبه و ثبت شد. برای تهیه تیمارهای محلول‌پاشی مقدار ۳٦ گرم از کائولین فرآوری شده، سپیدان [1](wp)، در یک لیتر آب، ۲/۸۸ گرم از اسیدآمینه گلایسین (مرک[2]) نیز در یک لیتر آب مخلوط گردید. برای تهیه محلول کیتوزان (سیگماآلدریچ[3])، ابتدا ۰/٤ گرم از این ماده در اسیداستیک ۰/۱ حل گردید و سپس در یک لیتر آب مخلوط شد. تیمار شاهد با استفاده از آب شهری اعمال شد. برخی از پلات‌های آزمایشی تنها در مرحله گلدهی (۱۲۰ روز پس از کاشت) و برخی هم در مرحله رویشی (٦۰ روز پس از کاشت) و هم مرحله گلدهی (۱۲۰ روز پس از کاشت) محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی با سم‌پاش دستی در ساعت اولیه روز، در هوای صاف بر روی بوته‌ها تا زمانی که قطرات محلول از برگ‌ها ریزش کرده و اندام‌های هوایی خیس شدند ادامه یافت. زمانی که بوته‌ها به ۵۰ درصد به گلدهی (۲۵ شهریورماه) کامل رسیدند، جهت تعیین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نمونه‌برداری برگی از خطوط میانی کرت‌ها انجام شد. هم‌چنین صفات مرفولوژیکی هم‌چون قطر تاج پوشش اندازه‌گیری شد. سپس در هر کرت دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای سه ردیف کاشت در هر واحد آزمایش به عنوان حاشیه کنار گذاشته شدند و سه گیاه به صورت تصادفی از سطح خاک کف‌بر شدند. بوته‌ها در داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (Windias 3) اندازه‌گیری گردید. آنگاه نمونه‌ها در سایه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک کل قسمت‌های هوایی با ترازو دیجیتالی با دقت یک هزارم گرم اندازه‌گیری و مورد محاسبه قرار گرفت. برای ارزیابی صفات فیزیولوژیکی هم‌چون کلروفیل از روش آرنون (۱۹٤۹) (۳۷) و صفات بیوشیمیایی مانند میزان شاخص پایداری غشاء که از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی برگ ارزیابی شد، از روش شی و همکاران (۲۰۰٦) (۳۸) و سوپراکسیددیسموتاز (SOD[4]) از روش بیچامپ و

1- Wettable powders
2- Merck
3- Sigma-aldrich
4- Superoxide dismutase

فریدوویچ (۱۹۷۱) (۳۹) استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۳) و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

کلروفیل a: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف خشکی و نوع محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و هم‌چنین اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی، در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل a گیاه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی، کلروفیل a روند افزایشی ٤/٧٩ درصدی را نسبت به شاهد داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان در برهمکنش تیمارهای تنش متوسط و محلول‌پاشی شاهد (۱۵۳ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در زمان رویشی و گلدهی به‌دست آمد. در کل در تنش‌های ملایم، چون وزن ویژه برگ افزایش می‌یابد، برگ‌ها ضخیم‌تر شده و در نهایت میزان کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد (٤٠). اثر مشابهی با این نتایج در خرفه نیز مشاهده شد (٤١) اما در ادامه با افزایش خشکی تا سطح تنش شدید، کلروفیل a روند کاهشی ٣٤/٦٤ درصدی نسبت به تنش متوسط نشان داد.

کلروفیل b: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف خشکی، زمان و نوع محلول‌پاشی، اثرات متقابل تیمارهای خشکی و زمان محلول‌پاشی و هم‌چنین تیمارهای خشکی و نوع محلول‌پاشی، در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل b گیاه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ٤) نیز نشان داد با افزایش تنش خشکی، کلروفیل b روند کاهشی ٤٣/٨٦ درصدی را نسبت به شاهد داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کلروفیل b را بر همکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی شاهد (٦٩/٣ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) دارا بود. کاهش در میزان کلرفیل b با بالارفتن تنش خشکی در کاسنی نیز گزارش شد (٤٢). هم‌چنین بیش‌ترین میزان، در برهمکنش تیمارهای شاهد تنش در زمان رویشی و گلدهی (٥٨/٤٠ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده شده، که از نظر آماری با سایر تیمارهای خشکی در هر دو زمان محلول‌پاشی، بغیر از تیمار تنش شدید در زمان گلدهی، اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٦).

کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف خشکی، نوع محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد، اثرات متقابل تیمارهای خشکی و نوع محلول‌پاشی و هم‌چنین اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی، در سطح احتمال پنج درصد بر میزان کلروفیل کل گیاه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نیز نشان داد که میزان کلروفیل کل نیز همانند دیگر رنگدانه‌ها (کلروفیل a) با افزایش تنش خشکی، روند افزایشی بدون اختلاف معنی‌دار با شاهد را داشت به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کلروفیل کل را بر همکنش تیمارهای تنش متوسط و محلول‌پاشی شاهد (٢١٦ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در زمان رویشی و گلدهی دارا بود که با برهمکنش تیمار آبیاری شاهد تنش و محلول‌پاشی شاهد (۲۱۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در زمان رویشی و گلدهی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. میزان کلروفیل کل با افزایش خشکی تا سطح تنش شدید، روند کاهشی ۳۲/۸۷ درصدی نسبت به تنش متوسط نشان داد. هم‌چنان که پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که در جریان تنش خشکی، کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات، کاهش سنتز کلروفیل‌ها را در بر خواهد داشت (٤٣).

شاخص پایداری غشاء (میزان نشت الکترولیت): نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده

زمان و نوع محلول‌پاشی، اثرات متقابل تیمارهای خشکی و زمان محلول‌پاشی، خشکی و نوع محلول‌پاشی و هم‌چنین اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی، در سطح احتمال یک درصد بر میزان نشت الکترولیت معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نیز نشان داد که کم‌ترین میزان نشت الکترولیت با کاهش ۳۰/٦۸ و ۲۸/٤ درصدی نسبت به شاهد را به ترتیب بر همکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی کیتوزان (٦/۱ درصد) و نیز کائولین (٦/۳ درصد) در زمان گلدهی دارا بودند. خشکی یکسری تغییرات را در فسفولیپیدهای غشاء ایجاد می‌کند، که این تغییرات در دنباله‌های اسیدچرب صورت گرفته و اسیدهای چرب غیراشباع، افزایش می‌یابند. در تنش‌های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دولایه‌ای غشاء حالت هگزاگونال (شش وجهی) و ساختار غشاء بـه ساختار منفذدار تبدیل می‌شود و نشت مواد رخ می‌دهد. در کل تـنش خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نهایت کاهش شاخص پایداری غشا سلولی را سبب می‌گردد (٤٤) هم‌چنان که در این پژوهش، کم‌ترین میزان نشت الکترولیت را تیمار شاهد تنش دارا بود. در نعناع فلفلی نیز شهریور و همکاران (۲۰۲۲) نتایج مشابهی را گزارش کردند (٤٥). از سوی دیگر، محلول‌پاشی کیتوزان در زمان گلدهی بیش‌ترین تأثیر را در کاهش میزان نشت الکترولیت و یکپارچگی غشای سلولی دارا بود که با محلول‌پاشی کائولین دارای اختلاف معنی‌داری نبود. اثر مثبت کیتوزان در کاهش میزان نشت الکترولیت در گیاه را می‌توان به نقش این ترکیب در افزایش بیان ژن‌های درگیر در تولید مواد ضدتنش هم‌چون آنتی‌اکسیدان‌ها نسبت داد (٤٦). از طرف دیگر کیتوزان باعث ایجاد پاسخ‌های دفاعی مانند سنتز نیتریک اسید در گیاه می‌شود، که این ماده نیز از طریق بهبود انعطاف‌پذیری دیواره سلول و تأثیر بر فسفولیپیدها و بهبود سیالیت غشاها باعث حفظ ساختارهای سلولی می‌گردد. علاوه بر این گزارش شده است که نیتریک‌اسید می‌تواند با رادیکال‌های الکوکسیل (RO•) و پراوکسیل (ROO•) چربی‌ها واکنش داده و منجر به توقف مستقیم اکسیداسیون چربی‌ها گردد (٤۷) در همین راستا کاربرد کیتوزان با غلظت ۵ گرم در لیتر در گلرنگ نیز بیش‌ترین درصد پایداری غشاء را نشان داد (٤۸). اثر مثبت کائولین در کاهش میزان نشت الکترولیت در گیاه را نیز می‌توان ناشی از نقش این ترکیـب در افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در جهت بهبود غشاء سلولی نسبت داد (٤۹). هم‌چنین با نظر به این‌که گلدهی از بحرانی‌ترین مراحل مواجهه با خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی در گیاه محسوب می‌گردد (۵۰). در این پژوهش نیز محلول‌پاشی کیتوزان در مرحله گلدهی در کاهش میزان خسارت وارده به گیاه مؤثرتر بود و نتایج بهتری در کاهش میزان نشت الکترولیت و کاهش خسارت وارد به غشاء سلولی نسبت به محلول‌پاشی در زمان رویشی و گلدهی نشان داد.

سوپراکسید دیسموتاز: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف خشکی، زمان و نوع محلول‌پاشی، اثرات متقابل تیمارهای خشکی و زمان محلول‌پاشی، خشکی و نوع محلول‌پاشی، زمان محلول‌پاشی و نوع محلول‌پاشی و همچنین اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی، در سطح احتمال یک درصد بر میزان سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز با افزایش ۲۵/۹۲ درصدی نسبت به شاهد را، برهمکنش تیمارهای تنش شدید و محلول‌پاشی کائولین (۰/۳٤ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در زمان رویشی و گلدهی دارا بود. در هنگام تنش خشکی انواعی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت مقابله با اکسیژن‌های فعال در گیاهان تجمع می‌یابند، هم‌چنان که در این

پژوهش با کاهش مقدار آب در دسترس، مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافته و بیش‌ترین میزان این آنزیم را سطح تنش شدید دارا بود. مشابه با همین نتایج، در پژوهشی تنش خشکی در گلرنگ نیز میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز را افزایش داد (۵۱). از سوی دیگر در مطالعه حاضر محلول‌پاشی سبب بهبود فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد شد، که با توجه به مطالب ذکر شده و نقش ماده کائولین در افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل، چنین نتیجه‌ای قابل انتظار است. هم‌چنان که در افزایش میزان پایداری غشاء و کاهش میزان نشت الکترولیت نیز مؤثر واقع شد.

سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف خشکی، اثرات متقابل تیمارهای خشکی و نوع محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و هم‌چنین اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی، در سطح احتمال پنج درصد بر سطح برگ گیاه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد، با کاهش میزان آب در دسترس صفت مذکور کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان سطح برگ را بر همکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی شاهد (٤٩٤٧ سانتی‌مترمربع) در زمان گلدهی دارا بود. در حقیقت کاهش سطح برگ یک راهبرد اجتناب از خشکی محسوب شده، زیرا کاهش سطح برگ منجر به کاهش اتلاف آب طی فرآیند تعرق می‌شود و این کاهش سطح برگ با کاهش توسعه برگ به‌وسیله کاهش سرعت تقسیم سلولی مرتبط بوده، که در نهایت منجر به از دست دادن فشار تورگرسلول شده است (۵۲) و یا نیز گزارش شده ناشی از کاهش شروع برگ‌های جدید در هر دو ساقه اصلی و شاخه‌های سمپودیال، با افزایش تنش آبی می‌باشد (۵۳) هم‌چنان که افزایش فواصل آبیاری (٤، ۸ و ۱۲ روز) در بابونه گاوی کاهش سطح برگ را به دنبال داشت (٥٤) و یا در کینوا نیز با افزایش تنش خشکی، کاهش ۳۷ درصدی در میزان سطح برگ، نسبت به شاهد، گزارش شد (۵۵).

قطر تاج پوشش: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف خشکی، زمان محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد، نوع محلول‌پاشی، اثرات متقابل تیمارهای خشکی و نوع محلول‌پاشی و هم‌چنین نوع محلول‌پاشی و زمان محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر قطر تاج پوشش گیاه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ٤) نیز نشان داد، بیش‌ترین میزان قطر تاج پوشش را بر همکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی با اسیدآمینه گلایسین (٦١٩ سانتی‌متر مربع) دارا بود که از نظر آماری با برهمکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی کائولین (٦٠٣ سانتی‌متر مربع) دارای اختلاف معنی‌داری نبودند. در دور آبی بالا، به‌دلیل کاهش مقدار آب جذب شده، مقدار واقعی آب داخل گیاه کاهش یافته، که این کاهش بر غلظت شیره سلولی تأثیر داشته، به‌طوری‌که منفی‌تر شدن پتانسیل آب را باعث شده است. هزینه کرد گیاه جهت جذب آب، از طریق افزایش نسبت ریشه به ساقه شده و از سطح سبز گیاه به‌منظور کاهش تعرق کاسته می‌شود، در نتیجه تاج پوشش به دلیل عدم توسعه بافت‌های رویشی کاهش می‌یابد (٥٦) هم‌چنان که در این پژوهش بیش‌ترین میزان تاج پوشش در تیمار شاهد مشاهده شد. هم راستا با این نتایج، در پژوهشی سطح تاج پوشش در گیاه ترخون با افزایش تنش خشکی، روند کاهشی نشان داد (۵۷). محلول‌پاشی با گلایسین افزایش ۳۰/۵۹ درصدی و کائولین افزایش ۲۷/۲۱ درصدی قطر تاج پوشش را در مقایسه با محلول‌پاشی شاهد به همراه داشت. با نظر به این‌که اسیدهای آمینه به عنوان منبع تأمین نیتروژن، در تولید پروتئین گیاهی و سبزینه (کلروفیل) و درنتیجه افزایش سطح برگ و نورساخت گیاه مؤثرند درنتیجه افزایش رشد از جمله افزایش قطر تاج پوشش در گیاه از

محلول‌پاشی اسیدهای آمینه‌ای همانند گلایسین قابل‌انتظار است (۵۸) هم‌چنین محلول‌پاشی با کائولین در زمان رویشی و گلدهی، در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایشی بیش‌ترین تأثیر را بر روی میزان تاج پوشش نشان داد، به‌طوری‌که بالاترین میزان قطر تاج پوشش (۵۸۵ سانتی‌متر مربع) و همچنین افزایش ۲٤/۷۳ درصدی صفت مذکور، را در مقایسه با شاهد در برداشت (جدول ۵).

وزن خشک: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف خشکی در سطح احتمال یک درصد، زمان محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد، اثرات متقابل تیمارهای خشکی و نوع محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و هم‌چنین نوع محلول‌پاشی و زمان محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان وزن خشک گیاه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ٤) نیز نشان داد، افزایش میزان تنش خشکی، کاهش در میزان وزن خشک را به دنبال داشت، به‌صورتی‌که بیش‌ترین میزان وزن خشک را بر همکنش تیمارهای شاهد تنش و محلول‌پاشی شاهد (۱٤۰/۵ گرم در مترمربع) دارا بود. تنش خشکی کاهش ۵۱/۹۵ درصدی وزن خشک را باعث گردید. از دلایل کاهش وزن خشک گیاه، کاهش در میزان سطح برگ است. در کل، گیاهان زمانی که در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند سطح برگ خود را کاهش داده، که همین امر سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه می‌گردد، از سوی دیگر کمبود آب با کاهش رنگریزه‌های فتوسنتزی نیز روی میزان فتوسنتز گیاه تأثیر گذاشته، که در نهایت این فرآیندهای کاهشی، به صورت کاهش در مقدار ماده خشک نمود می‌یابد (۵۹، ٦۰). در این آزمایش نیز کاهش میزان وزن خشک به‌دست آمده را می‌توان با در نظر گرفتن کاهش در میزان کلروفیل و هم‌چنین سطح برگ در نتیجه کاهش میزان آب در دسترس گیاه، توجیه نمود. هم‌چنان که در گیاه گاوزبان نیز بالاترین میزان عملکرد خشک کل در شرایط عدم تنش گزارش شد (٦۱). هم‌چنین در گیاه گل مغربی افزایش فواصل آبیاری کاهش وزن خشک و عملکرد دانه را در برداشت (٦۲). تنظیم اسمزی از جمله سازوکارهای سازگاری گیاه در برابر تنش خشکی بوده که از طریق تجمع مواد محلول مانند پروتئین، قندهای محلول و اسیدهای آمینه در اندام‌های هوایی و ریشه در نهایت منجر به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل پایین آب می‌شود (٦۳، ٦٤). گلایسین از جمله اسیدآمینه‌های تولیدی در جریان تنش‌های محیطی است، بنابراین نتایج اثر بخشی این اسیدآمینه در این پژوهش در افزایش صفات تاج پوشش گیاه و در نهایت میزان وزن خشک، را می‌توان به توانایی این ماده در ایجاد تنظیم اسمزی، حفظ فشار آماس سلولی که در نهایت به توسعه سلولی و رشد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند نسبت داد. هم‌چنان که پژوهش‌گران نیز نتایج مشابهی از اثرات مثبت کاربرد اسیدهای آمینه گزارش کردند (٦۵) هم‌چنین بیش‌ترین مقدار وزن خشک را تیمار محلول‌پاشی با کیتوزان (۱۱۱ گرم در مترمربع) در تیمار زمانی رویشی و گلدهی داشت که دارای اختلاف معنی‌داری با بر همکنش تیمارهای محلول‌پاشی شاهد و کائولین در هر دو زمان محلول‌پاشی نداشت (جدول ۵). با توجه به وجود عنصر نیتروژن در محرک زیستی کیتوزان و نقش ساختاری این عنصر در حلقه‌های تتراپیرولی کلروفیل، افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کلیدی در متابولیسم نیتروژن (نیترات ردکتاز، گلوتامین و پروتئازسنتتاز) بهبود انتقال نیتروژن و و در آخر تأثیر بر ژن‌های مسئول سازنده کلروفیل، افزایش رشد و در نهایت افزایش وزن خشک، در نتیجه محلول‌پاشی با کیتوزان در این پژوهش قابل انتظار است (٦٦، ٦۷). در همین راستا در گیاه آویشن نیز محلول‌پاشی کیتوزان سبب بهبود وزن خشک گیاهان تحت تنش خشکی شد (٦۸).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نوع و زمان محلول‌پاشی بر برخی ویژگی‌های زوفا.

Table 2. Analysis of variance for the effects of drought stress, type and time of foliar application on some characteristics of Hyssop (*Hyssopus officinalis*).

	میانگین مربعات Mean square								
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سطح برگ leaf area	قطر تاج پوشش Canopy diameter	وزن خشک Dry weight	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase
تکرار Replication (R)	2	2044451^{ns}	26323^{*}	2663^{ns}	71.38^{ns}	7.823^{ns}	117.7^{ns}	0.1307^{ns}	0.0646^{**}
خشکی Drought (D)	2	91877722^{**}	41520^{*}	13601^{**}	4313^{**}	446.8^{**}	7603^{**}	4.764^{ns}	0.0036^{**}
خطای اصلی Error a (Ea)	4	524728	3172	583.9	63.29	10.35	42.68	0.8114	0.0001
زمان محلول‌پاشی Foliar application time (FT)	1	4983^{ns}	22507^{*}	896.1^{*}	84.5^{ns}	229^{**}	600.9^{ns}	16.09^{**}	0.014^{**}
نوع محلول‌پاشی Foliar application (F)	3	124586^{ns}	26793^{**}	77.7^{ns}	915.6^{**}	507.8^{**}	2656^{**}	4.318^{**}	0.0263^{**}
خشکی × زمان محلول‌پاشی D × FT	2	5823^{ns}	6813^{ns}	461.1^{ns}	85.5^{ns}	131^{**}	400.8^{ns}	11.05^{**}	0.0012^{**}
خشکی× نوع محلول‌پاشی D × F	6	348507^{**}	14335^{**}	974.4^{**}	162.4^{ns}	182^{**}	448.1^{*}	6.161^{**}	0.014^{**}
زمان محلول‌پاشی × نوع محلول‌پاشی F × FT	3	154662^{ns}	15038^{**}	518.1^{*}	90.09^{ns}	50.44^{ns}	73.85^{ns}	1.412^{ns}	0.0051^{**}
خشکی × زمان محلول‌پاشی × نوع محلول‌پاشی D × F × FT	6	248236^{*}	6925^{ns}	248.1^{ns}	262.6^{*}	33.14^{ns}	380.1^{*}	5.639^{**}	0.0028^{**}
خطای فرعی Error b (Eb)	42	101378	3122	169.8	109.1	23.45	153.8	0.7973	0.0002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		15.94	11.1	12.84	8.04	8.79	6.7	10.62	7.66

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای مختلف تنش خشکی، نوع و زمان محلول‌پاشی بر برخی ویژگی‌های زوفا.

Table 3. The results comparison of the average interactions the effects of drought stress, type and time of foliar application on some characteristics of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.).

تیمارها Treatments							
تنش خشکی (درصد تخلیه آب قابل دسترس گیاه از خاک) Drought stress (available water discharge from the soil)	زمان محلول‌پاشی Foliar application time	نوع محلول‌پاشی Foliar application type	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) leaf area (cm^2)	کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن‌تر) Chlorophyll a ($mg.gfw^{-1}$)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن‌تر) Total chlorophyll ($mg.gfw^{-1}$)	نشت الکترولیت (درصد) Electrolyte leakage (%)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی گرم پروتئین در دقیقه) Superoxide dismutase ($U.\ mg\ protein^{-1}.\ min^{-1}$)
شاهد (۲۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس گیاه از خاک) Control 25% water available from the soil)	گلدهی Flowering	شاهد (آب) Control (water)	4947^{a}	142^{a-e}	212^{ab}	8.8^{c-f}	0.098^{j}
		کیتوزان Chitosan	4505^{ab}	138^{a-g}	193^{b-e}	6.1^{h}	0.159^{gh}
		کائولین Kaolin	3612^{d}	135^{b-h}	188^{c-f}	6.3^{h}	0.182^{ef}
		گلایسین Glycine	3688^{cd}	139^{a-f}	195^{a-d}	9.3^{cd}	0.14^{hi}
	رویشی و گلدهی Vegetation and flowering	شاهد (آب) Control (water)	4191^{bc}	146^{abc}	215^{a}	9.9^{abc}	0.098^{j}
		کیتوزان Chitosan	4390^{b}	144^{a-d}	197^{abc}	11.1^{a}	0.195^{e}
		کائولین Kaolin	4248^{b}	144^{a-d}	198^{abc}	8.8^{c-f}	0.27^{b}
		گلایسین Glycine	4097^{bcd}	128^{d-j}	185^{c-f}	10.8^{a}	0.189^{ef}
تنش متوسط (۵۰ درصد تخلیه آب قابل دسترس گیاه از خاک) Mild stress 50% water available from the soil)	گلدهی Flowering	شاهد (آب) Control (water)	1196^{e}	150^{ab}	211^{ab}	10.7^{ab}	0.135^{i}
		کیتوزان Chitosan	1041^{ef}	126^{e-k}	173^{efg}	7.8^{efg}	0.144^{hi}
		کائولین Kaolin	1491^{e}	132^{c-i}	195^{a-d}	6.6^{fg}	0.193^{e}
		گلایسین Glycine	1367^{e}	138^{a-g}	190^{c-f}	7.5^{fgh}	0.202^{de}
	رویشی و گلدهی Vegetation and flowering	شاهد (آب) Control (water)	1196^{e}	153^{a}	216^{a}	8.9^{c-f}	0.135^{i}
		کیتوزان Chitosan	1385^{e}	130^{c-i}	186^{c-f}	7.9^{d-g}	0.167^{gf}
		کائولین Kaolin	1422^{e}	141^{a-f}	198^{abc}	9.2^{cde}	0.193^{e}
		گلایسین Glycine	1191^{e}	116^{i-m}	171^{fg}	7.5^{fgh}	0.244^{c}

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

تیمارها Treatments			سطح برگ (سانتی‌متر مربع) leaf area (cm^2)	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) Chlorophyll a ($mg.gfw^{-1}$)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) Total chlorophyll ($mg.gfw^{-1}$)	نشت الکترولیت (درصد) Electrolyte leakage (%)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) Superoxide dismutase (U. mg protein $^{-1}$. min^{-1})
تنش خشکی (درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Drought stress (available water discharge from the soil)	زمان محلول‌پاشی Foliar application time	نوع محلول‌پاشی Foliar application type					
تنش شدید (۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس گیاه از خاک) Severe strees 75% water available from the soil)	گلدهی Flowering	شاهد (آب) Control (water)	445^{g}	125^{f-k}	182^{c-f}	6.5^{gh}	0.203^{de}
		کیتوزان Chitosan	524^{fg}	111^{j-m}	159^{gh}	8.9^{c-f}	0.187^{ef}
		کائولین Kaolin	528^{fg}	109^{klm}	145^{h}	8.6^{c-f}	0.221^{d}
		گلایسین Glycine	520^{fg}	100^{m}	143^{h}	7.9^{d-g}	0.103^{j}
	رویشی و گلدهی Vegetation and flowering	شاهد (آب) Control (water)	445^{g}	124^{f-k}	183^{c-f}	8.2^{def}	0.203^{de}
		کیتوزان Chitosan	514^{g}	119^{h-l}	176^{d-g}	9^{cde}	0.130^{i}
		کائولین Kaolin	482^{g}	106^{hm}	148^{h}	6.8^{gh}	0.34^{a}
		گلایسین Glycine	506^{g}	122^{g-l}	182^{c-f}	8.5^{c-f}	0.138^{hi}
LSD (0.05)			525	17.2	20.4	1.47	0.022

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و نوع محلول‌پاشی بر صفات مورد ارزیابی گیاه زوفا.

Table 4. Comparison of the average interactions effects of drought stress and type of foliar application on Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) traits evaluated.

تیمارها Treatments		قطرتاج پوشش (سانتی‌مترمربع) Canopy diameter (cm^2)	وزن خشک (گرم در مترمربع) Dry weight ($g.m^2$)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) Chlorophyll b ($mg.gfw^{-1}$)
تنش خشکی (درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Drought stress (available water discharge from the soil)	نوع محلول‌پاشی Foliar application type			
شاهد (۲۵ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Control (25% water available from the soil)	شاهد (آب) Control (water)	474^{cde}	140.5^{a}	69.3^{a}
	کیتوزان Chitosan	506^{bc}	126.2^{ab}	54.2^{cd}
	کائولین Kaolin	603^{a}	114.7^{bcd}	53.5^{cd}
	گلایسین Glycine	619^{a}	109.7^{cd}	56.4^{bcd}
تنش متوسط (۵۰ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Mild strees (50% water available from the soil)	شاهد (آب) Control (water)	473^{cde}	100.5^{de}	61.5^{b}
	کیتوزان Chitosan	419^{e}	93.3^{cf}	51.3^{d}
	کائولین Kaolin	562^{ab}	117.3^{bc}	60.5^{b}
	گلایسین Glycine	490^{cd}	112.2^{bcd}	53.2^{cd}
LSD (0.05)		65	15.2	5.6

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان و نوع محلول‌پاشی بر صفات مورد ارزیابی گیاه زوفا.

Table 5. Comparison of the average interactions effects of time and type of foliar application on Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) traits evaluated.

وزن خشک (گرم در مترمربع) Dry weight ($g.m^2$)	قطرتاج پوشش (سانتی‌متر مربع) Canopy diameter (cm^2)	تیمارها Treatments	
		نوع محلول‌پاشی Foliar application type	زمان محلول‌پاشی Foliar application time
102^{a}	473^{cde}	شاهد (آب) Control (water)	گلدهی Flowering
88^{b}	423^{e}	کیتوزان Chitosan	
101^{a}	519^{bcd}	کائولین Kaolin	
100^{ab}	527^{b}	گلایسین Glycine	
104^{a}	469^{de}	شاهد (آب) Control (water)	رویشی و گلدهی Vegetation and flowering
111^{a}	524^{bc}	کیتوزان Chitosan	
106^{a}	585^{a}	کائولین Kaolin	
99^{ab}	506^{bcd}	گلایسین Glycine	
12.4	53		LSD (0.05)

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level

جدول ٦- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و زمان محلول‌پاشی بر صفات مورد ارزیابی گیاه زوفا.

Table 6. Comparison of the average interactions effects of drought stress and time of foliar application on Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) traits evaluated.

تیمارها Treatments		کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) Chlorophyll b (mg.gfw^{-1})
تنش خشکی درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Drought stress (available water discharge from the soil)	زمان محلول‌پاشی Foliar application time	
شاهد (۲۵ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Control 25% water available from the soil)	گلدهی Flowering	58.33[a]
	رویشی و گلدهی Vegetation and flowering	58.4[a]
تنش متوسط (۵۰ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Mild strees 50% water available from the soil)	گلدهی Flowering	55.76[a]
	رویشی و گلدهی Vegetation and flowering	57.52[a]
تنش شدید (۷۵ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) Severe strees 75% water available from the soil)	گلدهی Flowering	45.76[b]
	رویشی و گلدهی Vegetation and flowering	54.61[a]

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level

نتیجه‌گیری

تنش خشکی باعث افزایش پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند کلروفیل a و کلروفیل کل تا سطح متوسط (۵۰ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) و میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز تا سطح شدید (۷۵ درصد تخلیه آب قابل‌دسترس گیاه از خاک) شد. هم‌چنین کاهش پارامترهای مرفولوژیکی مانند سطح برگ و وزن خشک را باعث گردید. خشکی در سطح شدید کاهش میزان کلروفیل a و کلروفیل کل را در برداشت. محلول‌پاشی با گلایسین و کیتوزان در زمان رویشی و گلدهی به ترتیب با افزایش میزان قطر تاج پوشش و وزن خشک، توانستند تا حدودی در کاهش اثرات منفی تنش خشکی در رشد و عملکرد گیاه، مؤثر واقع شوند. هم‌چنین محلول‌پاشی با کیتوزان و کائولین در زمان گلدهی با کم‌ترین میزان نشت الکترولیت و از طرفی محلول‌پاشی کائولین در زمان رویشی و گلدهی با افزایش فعالیت سوپراکسیددیسموتاز، در نهایت در افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه و همین‌طور افزایش هرچه بیش‌تر پایداری غشاء نقش سازنده‌ای داشتند. با توجه به تغییرات مثبت ایجاد شده در گیاه زوفا، می‌توان بخش زیادی از اثرات خشکی را با

محلول‌پاشی کاهنده‌های تعرق هم‌چون کائولین و کیتوزان و نیز اسیدهای آمینه هم‌چون گلایسین کاهش داده واز آن‌ها به عنوان موادی مؤثر در کاهش اثرات کمبود آب و بهبود تحمل گیاه به خشکی را در سایر گیاهان دارویی نیز معرفی نمود. علاوه بر این در مصرف آب صرفه‌جویی نمود که از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت زراعی برخوردار بوده و برای مناطقی که با چالش کمبود آب روبه رو هستند می‌تواند مفید باشد.

منابع

1. Omid Beigi, R. 2001. Approaches to the Production and Processing of Medicinal Plants.Volume III., Astan Quds Razavi Publishing. 397p. (In Persian)
2. Fathiazad, F., and Hamedeyazdan, S. 2011. Areview on *Hyssopus officinalis* L.: Composition and biological activities. African Journal of Pharmacy and Pharmacology. 5: 8. 1959-1966.
3. Khalili, H., Daneshian, J., Madani, H., Naderi Broujerdi, Gh., and Chegini, M. 2012. The effect of nitrogen fertilizer and plant density on growth and yield of hyssop (*Hyssopus officinalis*) essential oils. New findings in Agricultural. 6: 4. 221-229. (In Persian)
4. Abbasi, T., and Abbasi, S.A. 2010. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. Renew. Sustainable Energy Reviews. 14: 3. 919-937.
5. Brodersen, C.R., Roddy, A.B., Wason, J.W., and McElrone, A.J. 2019. Functional status of xylem through time. Annual Review of Plant Biology. 70: 407-433.
6. Ghanbari, M., Farzaneh, M., and Eftekharian Jahromi, A.R. 2015. Effect of Salicylic acid on some physiological characteristics of radish (*Raphanus sativus* L.) under stress conditions. Drought. Journal of Plant Environmental Physiology. 10: 39. 79-87. (In Persian)
7. Doupis, G., Bertaki, M., Psarras, G., Kasapakis, I., and Chartzoulakis, K. 2013. Water relations, physiological behavior and antioxidant defence mechanism of olive plants subjected to different irrigation regimes. Scientia Horticulturae. 153: 150-156.
8. Chitsaz, M., Nejatzadeh, F., and Valizadegan, E. 2016. Effect of irrigation and Zinc nutrition on growth and yield of essential oil (*Menta piperita* L.). ew Cellular and Molecular Biotechnology Journal. 6: 23. 39-46 (In Persian)
9. Jin, Z., Zhuang, Q., Wang, J., Archontoulis, S.V., Zobel, Z., and Kotamarthi, V.R. 2017. The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US rainfed maize and soybean production under elevated CO_2. Global Change Biology. 23: 7. 2687-2704.
10. Li, R.H., Pei-guo, G., Baum, M., Grando, S., and Cecccarelli, S. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. Agricultural Science. 5: 10. 751-757.
11. Tohidi, Z., Sobhanian, H., and Baghizadeh, A. 2021. Evaluation and comparison of ten ecotypes of *Teucrium polium* L. in tolerance to drought stress. Journal of Plant Environmental Physiology. 16: 62. 123-138. (In Persian)
12. Ebrahimi Sborezi, H., Modarres Sanavy, S.A., and Baghbani Aarani, A. 2021. Assessment of morpho-physiological and quantitative and qualitative yield of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under different irrigation regimes and application of different nitrogen fertilizer. Environmental Stresses in Crop Sciences. 14: 2. 425-437.
13. Sachdev, S., Ansari, S.A., Ansari, M.I., Fujita, M., and Hasanuzzaman, M. 2021. Abiotic Stress and Reactive Oxygen Species: Generation, Signaling, and Defense Mechanisms. Antioxidants, 10: 2. 1-37.

14. Bhuyan, M.B., Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Mohsin, S.M., Al Mahmud, J., Nahar, K., and Fujita, M. 2020. Nitric oxide and hydrogen sulfide: Two intimate collaborators regulating plant defense against abiotic stress. Plant Growth Regulation volume. 90: 3. 409-424.
15. Shah, K., Chaturvedi, V., and Gupta, S. 2019. Climate Change and Abiotic Stress-Induced Oxidative Burst in Rice Tolerance. P 505-535. In: M. Hasanuzzaman, M. Fujita, K. Nahar, J.K. Biswas, (Eds.),Advances in Rice Research for Abiotic Stress .Woodhead Publishing: Cambridge, MA, USA.
16. Alizadeh, A., Moghaddam, M., Asgharzade. A., and Mahmoodi Sourestani, M. 2022. Evaluation of chitosan application on growth characteristics, biochemical and essential oil content of summer savory under different soil moisture levels. Environmental Stresses in Crop Sciences. 15: 2. 427-442. (In Persian)
17. Asada, K. 2000 The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. Philosophical antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation. 46: 209-221.
18. AL-Aghabary, K., Zhujun, Z., and Qinhua, S. 2005. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Plant Nutrition. 27: 12. 2101-2115.
19. Oraee, T., Shoor, M., Tehranifar, A., and Nemati, S.H. 2021. A study of physiological and antioxidant responses in Alcea rosea under drought stress during two phenological stages. Plant Process and Function1. 10: 41. 209-225. (In Persian)
20. Mansori, M., Farouk, I.A., Hsissou, D., and El Kaoua, M. 2019. Seaweed extract treatment enhances vegetative growth and antioxidant parameters in water stressed *Salvia officinalis* L. Journal of Materials and Environmental Science. 10: 8. 756-766.
21. Torabi Giglou, M., Heydarnajad giglou, R., Esmaeilpour, B., Azarmi, R., Padash, A., Falakian, M., Śliwka, J., Gohari, G., and Maleki lajayer, H. 2022. A new method in mitigation of drought stress by chitosan-coated iron oxide nanoparticles and growth stimulant in peppermintIndustrial. Crops and Products. 187: A. Under press.
22. Mohammadi, H., Sepehri, A., and Sabaghpour, H. 2018. Effect of antitranspiration substances and drought stress ameliorators on leaf area duration, water use efficiency and grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes. Applied Research in Field Crops . 31: 2. 92-118. (In Persian)
23. Khajeh Hosseini, S., Fanoodi, F., Tabatabaei, S.A., Yazdani Biouki, R., and Masoud Sinaki, J. 2020. Drought stress response of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) as influenced via the antitranspirants and osmolytes materials. Italian Journal of Agrometeorology. 2: 35-44.
24. Yazdani-Biouki, R., and Khajeh Hosseini, S. 2020. Synergistic effect of drought stress and glycine amino acid treatment on structural and antioxidant reactions of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica*). Journal of Crop Production. 13: 1. 147-158.
25. Glenn, D.M. 2012. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. Hort Science. 47: 6. 710-711.
26. El Hadrami, A., Adam, L.R., El Hadrami, I., and Daayf, F. 2010. Chitosan in plant protection. Marine Drugs. 8: 4. 968-987.
27. Malerba, M., and Cerana, R. 2016. Chitosan Effects on Plant Systems. International Journal of Molecular Sciences. 17: 7. 1-15.
28. Nazim, M., Muqarrab, A., Shahzad, KH., Ahmad, A., Nawaz, F., Amin, M., Anjum, SH., Nasif, O., Alharbi, S.A ., Fahad, SH., Danish, S., and Datta, R. 2021. Kaolin and Jasmonic acid improved cotton productivity under

water stress conditions. Saudi Journal of Biological Sciences. 28: 6606-6614.
29. Naeemi, M., Dehghani, M.S., Ghilamali Pour Alamdari, E., and Jabbari, H. 2019. Effects of different irrigation regimes and foliar application of chitosan on qualitative and physiological characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 12: 2. 471-480. (In Persian).
30. Souri, M.K., and Hatamian, M. 2019. Aminochelates in plant nutrition: a review. Journal of Plant Nutrition. 42: 1. 67-78.
31. Mohammadipour, N., and Souri, M.K. 2019. Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Acta Agrobotanica. 72: 1. 1-9.
32. Alavi Asl, S.A., Sirus Mansourifar, S., Modares Sanavi, A.M., Sadat Asilan, K., and Tabatabaee, S.A. 2014. Effect of chitosan and zeolite on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different irrigation conditions in Yazd. MSc dissertation. Faculty of Agriculture and Natural Resources. Payame Noor University of Alborz Province. Iran. (In Persian)
33. Kamsari Banayi, S. 2013. Effect of mulch and antiperspirant on the yield of millet nitrified under drought stress. Master's thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman. (In Persian)
34. Malekpoor, F., Salimi, A., and Ghasemi P. 2017. Effect of bioelicitor of chitosan on physiological and morphological properties in purpule basil (*Ocimum basilicum* L.) under water deficit. journal of plant ecophysiology. 8: 27. 56-71. (In Persian)
35. Souri, M.K., and Yarahmadi, B. 2015. Effect of amino chelates foliar application on growth and development of marigold (*Calendula officinalis*) plant, Plant Production Technology. 15: 2. 109-119. (In Persian)
36. Najaf Pour Navai, M. 1999. Effect of chemical fertilizer (N&P) on seed yield of *Hyssopus officinalis*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 4: 1. 1-11. (In Persian)
37. Arnon, D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenol oxidase in Beta *vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1. 1-15.
38. Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q., and Qian, Q. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. Plant Growth Regulation. 48: 2. 127-135.
39. Beauchamp, C., and Fridovich, I. 1971. Superoxide Dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry. 44: 1. 276-287.
40. Abdalla, M.M., and El-Khoshiban, N.H. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two Triticum aestivum cultivars. Journal of Applied Sciences Research. 3: 12. 2062-207.
41. Azizi, E., Rezapour, Y., Kermani, M., and Masoomi, A. 2021. Investigation of some physio-morphological traits of purslane (*portulaca oleracea* L.) landraces under drought stress. Journal of Plant Environmental Physiology. 16: 63. 16-34. (In Persian)
42. Saedi, F., Mosavi Nik, S.M., and Rahimian Boger, A.R. 2017. Effects of different fertilizers on the morphophysiological characteristics of chicory under drought stress. Journal of Crop Improvement. 19: 1. 119-132.
43. Neto, O., Silva Lobato, C.F.A.K., Goncalves Vidigal, M.C., Costa, R.C.L., Santos Fillho, B.G., Alves, G.A.R., Silva Maia, W.J.M., Cruz, F.J.R., Neres, H.K.B., and Santos Lopes, M.J. 2009. Carbon compounds and cholorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Journal of Food, Agriculture & Environment. 7: 3-4. 588-593.

44.Mir Jalili, A. 2005. Plants in stressful environments. Noorbakhsh prees. 230p. (In Persian)
45.Shahrivar, Z., Abtahi, F.S., and Hatami, M. 2020. Effect of growth regulator salicylate on some physiological and biochemical parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 32: 4. 815-830. (In Persian)
46.Rezaei Aderyani, F., Rezaei, A., and Sharafi, Y. 2018. Investigation of improving salinity stress damages in Diospyros lotus seedlings by putrescine and chitosan. Journal of Crop Improvement. 19: 3. 671-686.
47.Shehab, G.C., Ahmed, O.K., and ELBeltagi, H.S. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 38: 1. 139-148.
48.Amiri, A., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Yadollahi Dehcheshmeh, Y., and Sirousmehr, A. 2017. The Role of Salicylic Acid and Chitosan Foliar Applications under Drought Stress Condition on Some Physiological Traits and Oil Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Crop Ecophysiology. 11: 1. 70-83. (In Persian)
49.Bernardo, S., Dinis, L.T., Luzio, A., Pinto, G., Meijon, M., Valledor, L., Conde, A., Geros, H., Correia, C.M., and Moutinho-Pereira, J. 2017. Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). Environmental and Experimental Botany. 139: 39.
50.Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2010. Physiology of environmental stresses in plants. Jihad Daneshgahi prees. 502p. (In Persian)
51.Rashidy, S. 2022. The study Effect of teratments salicylic acid and selenium on physiological and agronomic characteristics of safflower in drought stress conditions. Journal of Plant Environmental Physiology. 16: 64. 127-140. (In Persian)
52.Bangar, P., Chaudhury, A., Tiwari, B., Kumar, S., Kumari, R., and Bhat, K.V. 2019. Morphophysiological and biochemical response of mungbean [*Vigna radiata* L.) Wilczek] varieties at di_erent developmental stages under drought stress. Turkish Journal of Biology. 43: 1. 58-69.
53.Krieg, D.R., and Sung, F.J.M. 1986. Source-sink relationships as affected by water stress. P 73-78. In: J.R. Mauney and J.M. Stewart (eds.). Cotton Physiology. The Cotton Foundation, Memphis, Tenn.
54.Esmaili, SH., Tavallali, V., and Amiri, B. 2021. Nano-Silicon Complexes Enhance Growth, Yield, Water Relations and Mineral Composition in Tanacetum parthenium under Water Deficit Stress. Silicon. 13: 8. 2493-2508.
55.Solimaninya, Z., Mohtadi, A., and Movahhedi Dehnavi, M. 2021. Response of some physiological and morphological properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by zinc application under drought stress Journal of Plant Process and Function. 10: 41. 171-186. (In Persian)
56.Kochi, A., and Nasiri Mahalati, M. 1994. Ecology of agricultural plants. Mashhad Unive. Press. 128p. (In Persian)
57.Lotfi, M., Abbaszadeh, B., and Mirza, M. 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 30: 1. 19-29.
58.Ghazi Manas, M., Banj Shafiee, S., Haj Seyed Hadi, M.R., and Darzi, M.T. 2013. Effects of vermicompost and nitrogen on quantitative and qualitative yeild of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.), Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 29: 2. 269-280.
59.Flowers, T.J., Troke, P.F., and Yeo, A.R. 2000. The mechanism of salt tolerance in halophytes Annu. Journal of Plant Physiology. 28: 1997. 89-121.

60. Ghanbari, M., Farzaneh, M., and Eftekharian Jahromi, A.R. 2015. Effect of Salicylic acid on some physiological characteristics of radish (*Raphanus sativus* L.) under stress conditions. Drought. Journal of Plant Environmental Physiology. 10: 39. 79-87. (In Persian)
61. Gholinezhad, R., Sirousmehr, A., and Fakheri, B. 2016. Evaluation of Irrigation Regimes and Use of Organic Fertilizers On Qualitive and Quantitive Yield of Borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Crop Ecophysiology. 10: 3. 683-696.
62. Fazeli Kakhki, S.F., Jolini, M., Rezvani, H., and Goldani, M. 2020. Effect of Irrigation Interval on Morphological, Yield Components and Seed Oil Characteristics of Evening Primrose Plant (*Oenothera biennis* L.) in Field Conditions. Journal of Sustainable Development. 7: 3. 73-82.
63. Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, J., and Perrotta, C. 2006. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. Plant, Cell & Environment. 29: 12. 2143-2152.
64. Showler, A.T., and Castro, B.A. 2010. Influence of drought stress on Mexican rice borer (*Lepidoptera: Crambidae*) oviposition preference in sugarcane. Crop Protection. 29: 5. 722-727.
65. Yazdani-Biouki, R., and Khajeh Hosseini, S. 2021 Evaluation the glycine amino acid application on carotenoid and anthocyanin content on Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) under drought stress. The first national conference on plant the first national conference on plant antioxidants. pp. 26-29. Isfahan. University of Isfahan.
66. Mehregan, M., Mehrafarin, A., Labbafi, M.R., and Naghdi Badi, H. 2017. Effect of different concentrations of chitosan biostimulant on biochemical and morphophysiological traits of stevia plant (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Journal of Medicinal Plants. 2: 62. 169-182.
67. Nourafcan, H. 2019. Effect of Chitosan on Physiological and Morphological Traits of Lemon Verbena (*Lippia citriodora* L.) under in Vitro and Field Conditions. Journal of Crop Ecophysiology. 13, 49: 1. 73-86.
68. Bistgani, Z.E., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A.G., and Hashemi, M. 2017. Morpho-physiological and phytochemical traits of (*Thymus daenensis* Celak.) in response to deficit irrigation and chitosan application. Acta Physiologiae Plantarum. 39: 10. 231.